B) LA FONDERIE

B1 : GENERALITES :

Le moulage consiste à réaliser des pièces par coulée et solidification d'un matériau, dans une empreinte appelée « moule « . Cette technique est souvent la plus économique pour l'obtention de produits finis ou semi-fini et pour des pièces de formes complexes, des séries de pièces identiques ou pour des pièces massives.

B1-1 : Le moule :

C'est l'ensemble des éléments appropriés, délimitant l'empreinte, et recevant le métal liquide qui après solidification donnera la pièce.

On distingue	L'empreinte	L'empreinte	Matériaux	Quantités
Moule à utilisation unique	Sable + agglomérant	Obtenue à l'aide d'un modèle, pour les moules en sable.	Tous les matériaux	Alliages à bas point de fusion
Moules permanents	métalliques	Façonnée directement dans la masse	Pièces unitaires à grande série	Série importante

B1-2 : Caractéristiques des alliages de fonderie :

La gamme des matériaux moulables est très étendue, les principaux alliages utilisés sont les fontes, les aciers, les alliages de cuivre, aluminium, zinc, magnésium, plomb, etc.

B2 : LE MODELAGE :

Le modèle est l'appareil utilisé pour la réalisation économique de l'empreinte dans le moule. Les principaux facteurs influant sur sa conception sont le nombre de pièce à fabriquer, la précision demandée, les dimensions et formes des pièces, la méthode de moulage et de noyautage choisie.

B2-1 : Conception des modèles :

Lors de leur réalisation, il convient de tenir compte d'un certain nombre de facteurs :

B2-1-1 : Le retrait :

C'est un phénomène physique de contraction du métal (ou alliage) lors de sa solidification (recristallisation).

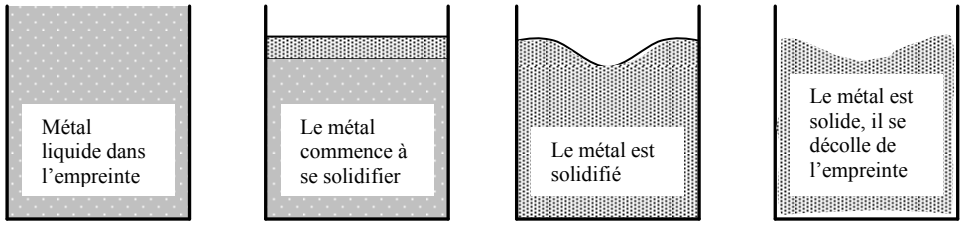

Métal liquide dans l'empreinte
Le métal commence à se solidifier
Le métal est solidifié
Le métal est solide, il se décolle de l'empreinte

Schéma de variations de volume de l'acier, depuis l'état liquide

Son existence oblige le modeleur à prévoir sur le modèle des dimensions supérieures à celles de la pièce, d'environ :
- 1,2 à 2,4% pour les aciers
- 1 à 1,5% pour les fontes
- 1,2 à 1,6% pour les alliages d'aluminium et cuivreux

B2-1-2 : Les surépaisseurs d'usinages :

Réserves de matière nécessaires à l'usinage, elles sont fonction du nombre de passes effectuées et des copeaux minima (ébauche, semi-finition, finition).

B2-1-3 : La dépouille :

Inclinaison des parois verticales du modèle ou boite à noyaux par rapport au sens de démoulage, elle permet de faciliter l'extraction du modèle en moulage sable ou de la pièce en moulage coquille. Le sens du démoulage est défini par le plan de joint .

B2-1-4 : les congés :

Arrondis de rayon variable qui permet d'éviter les tensions internes et de faciliter le démoulage.

B2-1- : les portées de noyau :

Parties rapportées au positif sur les modèles avec noyau pour maintenir, soutenir et positionner ces derniers.

B2-2 : Les noyaux :

Parties de moule exécutées séparément, les noyaux permettent le plus souvent de ménager des évidements dans les pièces, parfois de faciliter le démoulage. Il comportent toujours deux zones :

- l'une qui sera en contact avec le métal liquide et donnera la forme à la pièce.
- L'autre, en contact avec le sable du moule, sert à son positionnement (portée).

B2-3 : les masselottes :

Ce sont des réserves de métal liquide, ménagées dans les moules, destinées à céder du métal à la pièce pendant sa solidification. Elles permettent, en outre, de localiser les défauts internes à l'extérieur des pièces, les impuretés remontant en surface. Ce processus se pratique en moulage sable et en coquille.

B3 : LES SABLES DE FONDERIE :

Les sables utilisés en fonderie doivent répondre à un certain nombre d'impératifs :

- Reproduire fidèlement la pièce modèle.
- Avoir une surface aussi fine que possible.
- Ne pas ce désagréger lors de l'extraction du modèle.
- Résister à la température de coulé élevé du métal.
- Résister à l'érosion par le métal liquide, lors de la coulée.
- Ne pas s'opposer au passage des gaz produits pendant la coulée.
- Résister suffisamment au efforts de retrait dumétal.
- Permettre un décochage aisé.

B3-1 : Composition des sables de fonderie :

Elle est généralement de :

- 70 à 80% de silice => support
- 5 à 15% d'argile => agglutinant
- 7 à 10% d'eau
- 3 à 5% d'impuretés (oxyde de fer, matières organiques, etc.)

Le fait de jouer sur ces pourcentage permet de faire varier les qualités demandées au sable.

B3-2 : Mode d'emploi des sables :

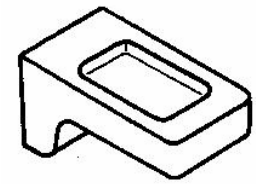
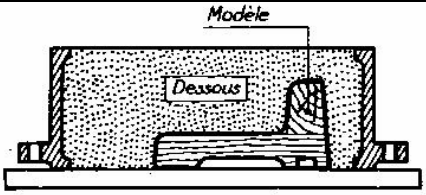
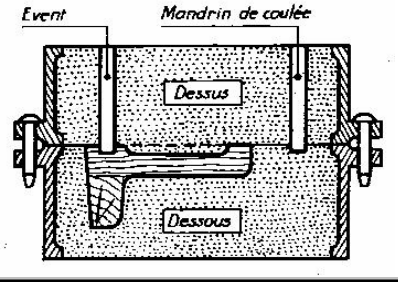
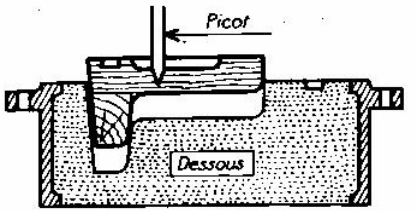
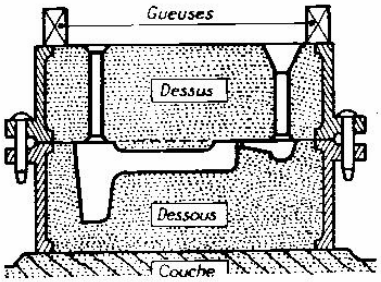
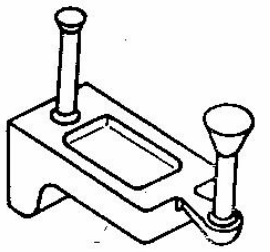
Désignation	Procédé	Qualité	Contrainte	Commentaire
Moulage « à vert »	Pas de séchage du sable avant la coulée.	Pièce précises.	Risque de trempe superficielle.	Procédé économique.
Moulage « à vert grillé »	Consiste en un séchage superficiel de l'empreinte	Précision acceptable.	Risque de trempe atténuée.	Dureté du moule augmentée.
Moulage en sable « étuvé »	Le moule est passé au four avant utilisation.	Pièces moins précises.	Pas de risque de trempe superficielle.	Prix de revient élevé. Empreinte très résistante.

B3-3 : Sable à noyaux :

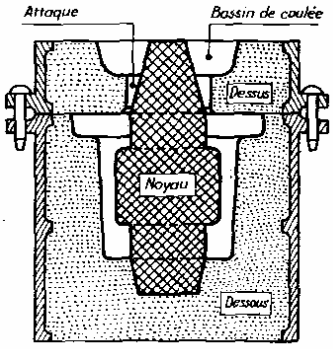
Obtenue à partir de sable blanc auquel on incorpore un agglomérant (huile de lin, collargine, mélasse, etc.), ils sont séché ou étuvés après mise en forme. Il doivent résister aux efforts et manutention tout en étant facilement débourrables. Ils doivent avoir une compressibilité suffisante, permettant au retrait du métal de se manifester normalement sans pour cela trop résister sous peine de provoquer des tensions voire des criques dans la pièce.

B4 : MOULAGE EN SABLE :

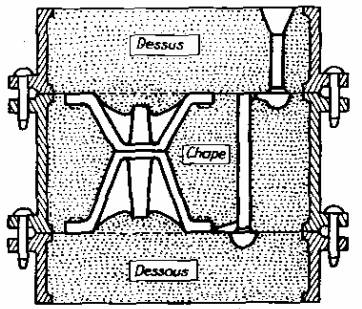
B4-1 : Gamme générale :

	Pièce à réaliser avec modèle « tel que pièce »
- Mise en place du modèle - Remplissage du châssis de dessous	
	- Retournement du châssis - Saupoudrage du joint - Mise en place du châssis de dessus, du mandrin de coulée, des évents, etc. - Remplissage du dessus
- Ouverture du moule - Extraction du modèle - Réalisation du canal et de la poche de coulée.	
	- remmoulage, puis coulée du métal liquide.
- Décochage - Ebarbage, sablage - Contrôle - Traitement thermique éventuel	

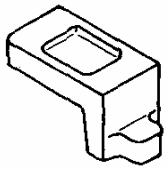
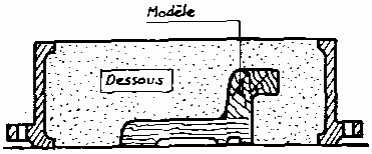
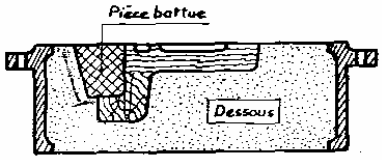
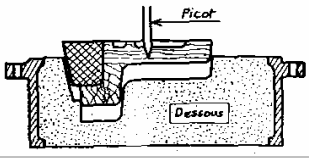
B4-2 : Moulage avec noyaux :

Pratiqué lorsque les formes de la pièce s'opposent à un moulage avec modèle « tel que pièce » (évidements, parties en contre dépouille). Les noyaux sont confectionnés à part, et mis en place dans le moule avant le remoulage.	

B4-2 : Moulage avec chape :

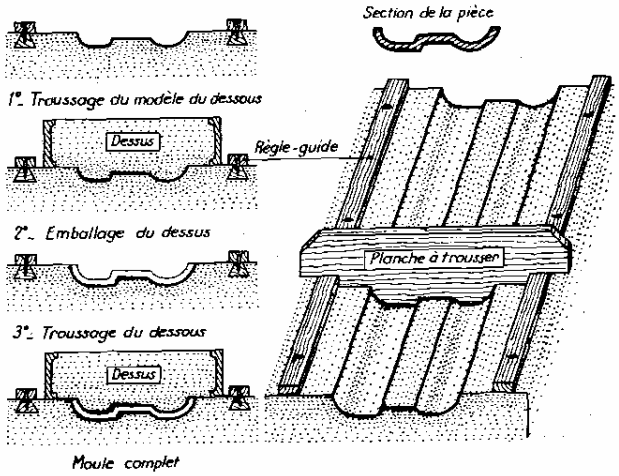
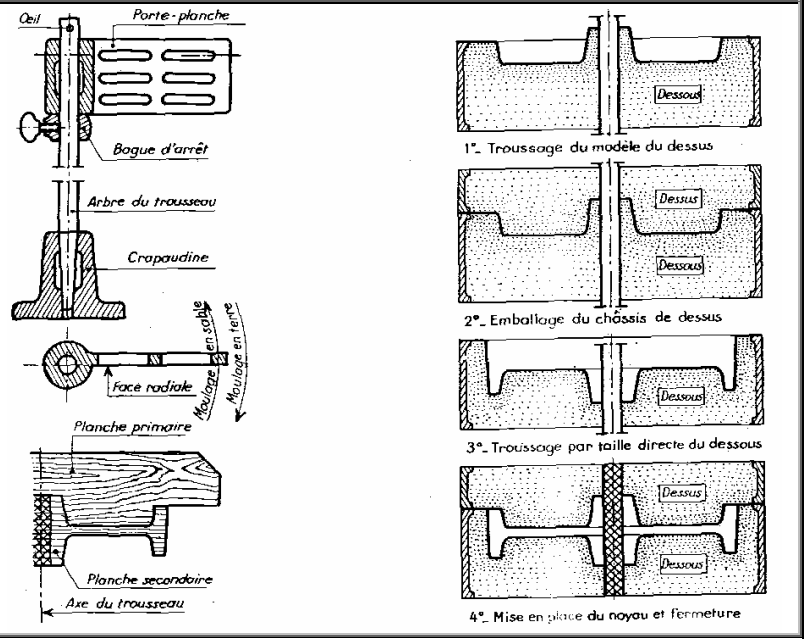
	Les formes de certaines pièces présentant plusieurs sections minima, nécessitent pour leur moulage, l'emploi d'un châssis supplémentaire appelé « chape ». Les modèles utilisés doivent être obligatoirement démontables suivant la section minimum.

B4-3 : Moulage avec chape :

	Ce procédé est utilisé pour certains cas particuliers de pièces présentant des partie en contre dépouille (bossage, etc.). Ex : pièce avec oreilles
- emballage du dessous	
	- Retourner le châssis et pratiquer une cavité descendant jusqu'à l'oreille qui s'oppose au démoulage. - Saupoudrer de talc avant de reboucher avec du nouveau sable.
- Démoulage du modèle et de la pièce battue. - Cette dernière sera replacée dans sa cavité lors du remmoulage.	

B4-4 : Moulage au trousseau :

Ce procédé est utilisé pour la réalisation de pièces volumineuses de forme rectiligne, circulaire, curviligne, etc. Le modèle habituel est remplacé par un ensemble de planches qui permettent au mouleur d'engendrer les surfaces du moule. Economiquement, ce procédé n'est applicable que pour un nombre de pièces limité (réalisation du moule trop longue).

Troussage rectiligne	Troussage circulaire
	

B5 : MOULAGE MECANIQUE EN SABLE :

Il importe, en moulage série, que les moules soient :

- Réalisés le plus rapidement possible ➔ Prix.
- Rigoureusement semblables ➔ Exactitude, tolérances.

On utilise à cet effet, des machines à mouler et des plaques modèles.

B5-1 : Machines à mouler :

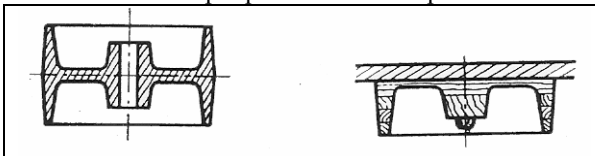
Elles permettent d'assurer un serrage identique du sable, d'un moule à l'autre, et un démoulage aisé.
Le procédé de serrage, variable selon les machines, peut être effectué :

- Par pression ➔ Appliqué aux moulage de faible hauteur.
- Par secousses ➔ inconvénient de serrage pratiquement nul à la partie supérieure du moule.
- Par vibrations et secousses ➔ Serrage efficace.
- Par projection ➔ Serrage régulier dans toutes les zones.

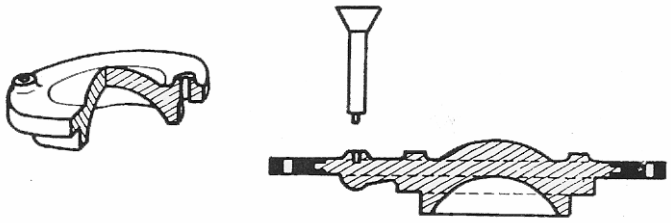
B5-2 : Les plaques modèles :

Confectionnées en bois, plâtre, métal, plastique selon l'importance de la série, elles permettent non seulement d'obtenir les formes de la pièce, mais également la surface du joint (plan de joint) et les éléments de coulée (canal, évents, masselottes).
On distingue :

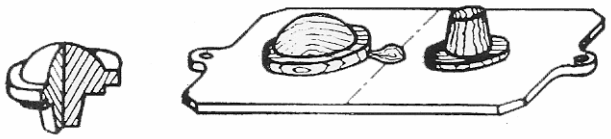
- Les plaques modèles simple face

	Une seule face de la plaque est utilisée - Pièces dont le joint est en bordure. - Pièces symétriques.

- Les plaques modèles double face

Les deux cotés de la plaque porte modèle sont utilisés. - Réalisation d'un moule complet à chaque serrage.	

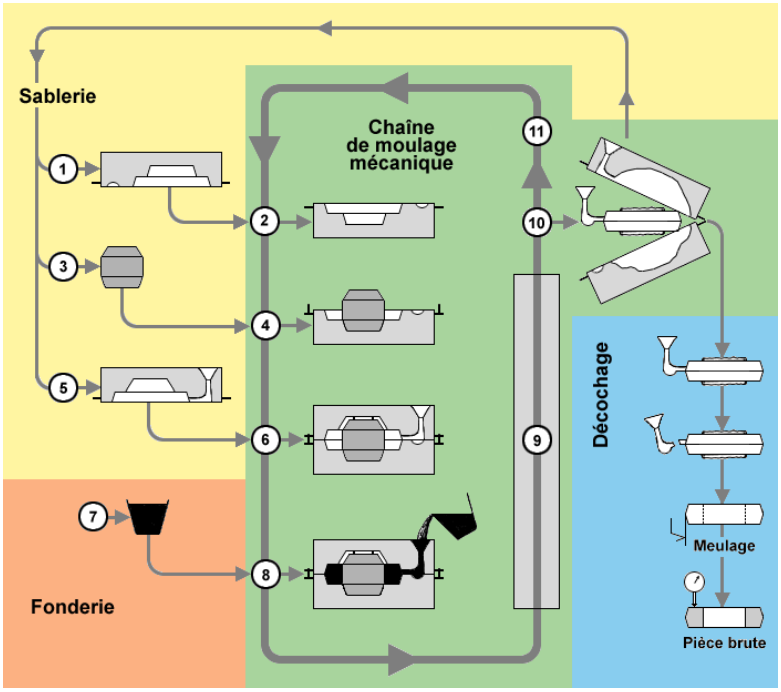
- Les plaques modèles réversibles

	Une seule face de la plaque modèle est utilisée. - Réalisation d'un demi moule à chaque serrage. - Obtention de deux pièces minimum à chaque coulée.

B5-3 : Les possibilités du moulage mécanique en sable :

Il permet la réalisation de toute pièce, quelle que soit sa forme, mais il est limité par la capacité des machines (4 m^2).
Les cadences de moulage sont très élevées :

- 100 à 200 moules par heure selon dimensions des pièces.
- 400 moules par heure avec plaque modèle double face.



1 . Serrage chassis inférieur
2 . Retournement
3 . Noyautage
4 . Remoulage noyau
5 . Serrage chassis supérieur
6 . Fermeture du moule
7 . Élaboration du métal liquide
8 . Coulée
9 . Tunnel de refroidissement
10 . Déchargement puis décochage
11 . Retour chassis

B6 : MOULAGE EN SABLE PROCEDES PARTICULIERS :

B6-1 : Procédé SHAW :

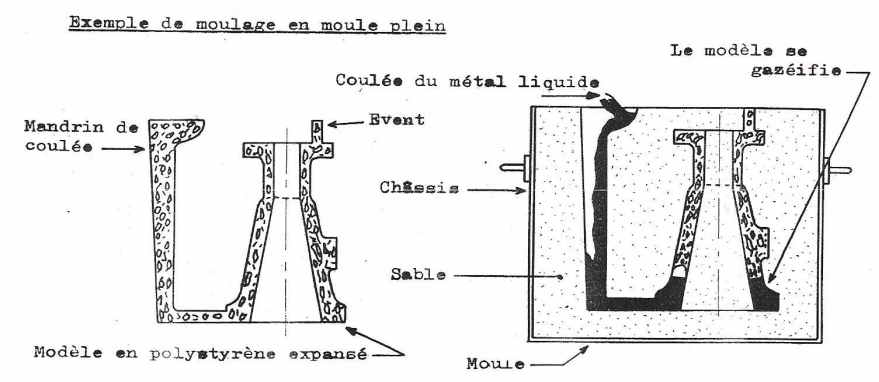
On utilise des sables fins, très réfractaires (zircons, etc. ..), additionnés d'éther de silicium en solution alcoolique, qui en présence d'un acide, libère de la silice pure colloïdale jouant le rôle de liant. Le sable ainsi préparé est liquide, coulée sur les modèles, il fait prise et se solidifie en conservant quelques instants une certaine élasticité qui facilite l'extraction des modèles. Avant coulée, moule et noyaux sont chauffés, afin de leur donner la cohésion maximale. Ce procédé est utilisé pour le moulage des aciers spéciaux et des pièces de précision.

B6-2 : Moulage au CO_2 :

Le sable utilisé pour la confection des noyaux et des moules, est à base de silicate de soude. Soumis à un courant de gaz carbonique, il durcit presque instantanément par réaction chimique. Les moules et les noyaux sont très résistants et ce procédé se prête bien au moulage de très grosses pièces.

B6-3 : Moulage en moule plein :

On utilise des modèles en mousse plastique (polystyrène expansé : 92% carbonne, 8% d'hydrogène). On laisse le modèle dans le moule, celui-ci se gazéifiant au contact de l'alliage en fusion. Procédé coûteux (un modèle par moule), on l'utilise pour le moulage de pièces unitaires à moyenne série et pour les pièces de grand dimensions (bâtis, etc.).

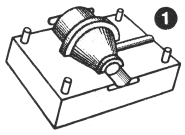
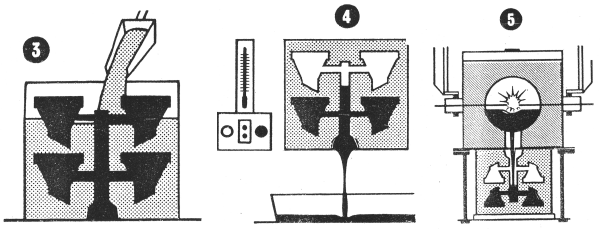
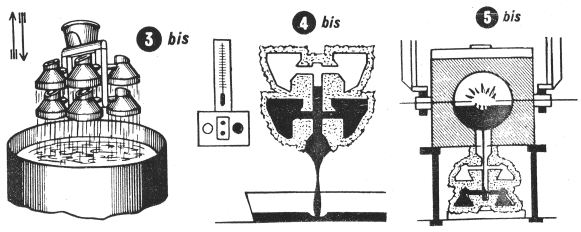
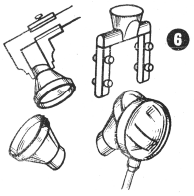


6-4 : Moulage à la cire perdue :

Ce procédé repose sur l'utilisation de moules sans joint, dont les empreintes sont obtenues par fusion (90 à 100°) des modèles en cire. Une application plus récente du procédé, consiste en l'obtention de moules spéciaux par trempages successifs des modèles dans un bain de matière réfractaire dont l'épaisseur atteindra 7 à 10mm. Ceux-ci sont ensuite placés dans un four porté progressivement à 950° pour cuisson.

Caractéristiques :

- Possibilité de coulée de tous alliages.
- Poids des pièces : Quelques grammes à 30Kg (fusion à l'air)
  Quelques grammes à 20Kg (fusion sous vide)
- Tolérances : ± 0,1mm en qualité courante
  ±0,03mm en qualité précise
- Etat de surface Ra 2 à 3,5µ

Fabrication d'un moule		**Fabrication d'une carapace**
1 Reproduction des cires 2 Montage des cires en grappes 3 Enrobage des grappes 4 Evacuation de la cire 5 Coulée du métal		
		
6 Séparation des pièces et contrôle.		

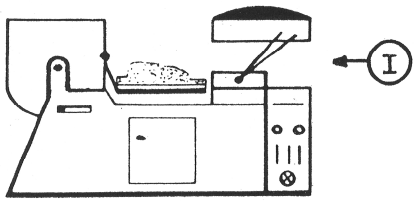
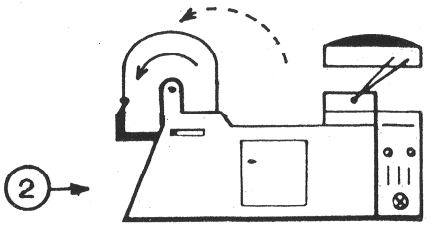
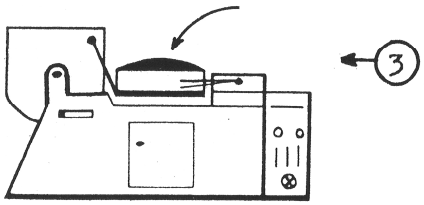
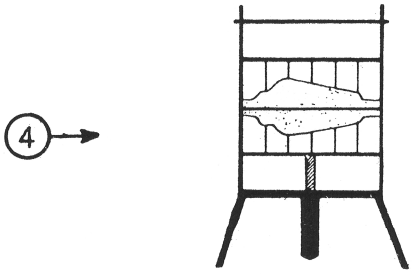
B6-5 : Moulage en carapace : (Croning ou Shell-moulding).

On utilise pour ce procédé, un sable spécial à base de résines thermodurcissables qui, mis au contact d'une plaque modèle chauffée à une température d'environ 200°c, durcit sur une couche de quelque millimètres ➔ Carapace.

A chaque carapace correspond un demi moule, qui sera polymérisé puis collé sous presse (deux à deux).

Caractéristiques :

- Utilisation de tous alliages ; bon aspect des pièces moulées.
- Cadences de fabrications de 50 à 60 carapaces/heure
- Tolérances : ±0,2mm ; parfois inférieures selon alliage, joint etc.
- Amortissement outillage ➔ moyenne à grande série

<table>
<tr><th colspan="2">Fabrication d'une carapace</th></tr>
<tr><td> 
</td><td>Début du cycle :
- Chauffage plaque modèle.</td></tr>
<tr><td>Formation de la carapace :
- Retourner plaque modèle
- Retourner ensemble bac – plaque</td><td> 
</td></tr>
<tr><td> 
</td><td>Polymérisation :</td></tr>
<tr><td>Collage sous presse après démoulage :</td><td> 
</td></tr>
</table>